

**①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ Patentschrift
⑩ DE 41 14 706 C 1

(51) Int. Cl.⁵:
B 60 L 13/04
 H 02 N 15/00
 E 01 B 26/00
 F 16 C 32/04

21	Aktenzeichen:	P 41 14 706.5-32
22	Anmeldetag:	6. 5. 91
43	Offenlegungstag:	—
45	Veröffentlichungstag der Patenterteilung:	8. 10. 92

DE 41 14 706 C1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Weh, Herbert, Prof. Dr.-Ing., 3300 Braunschweig, DE

⑦2 Erfinder:

gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 37 19 587 A1
DE 27 10 156 A1
DE 26 14 883 A1

⑤4 Magnet- und Schienenanordnung beschränkter Bauhöhe

57) Magnet-/Schienenanordnungen haben der Bedingung nach optimaler Verträglichkeit mit den Zielen des Systems und damit auch der Forderung nach günstiger Gestaltung der Fahrbahn sowie der preisgünstigen Herstellung und optimalem Regelverhalten der Magnete zu entsprechen. Geringe Kosten des Magnetmaterials und geringe Bauhöhe der Magnetanordnung bei sonst günstigen Betriebsparametern, wie etwa Verhältnis Tragkraft zu Magnetgewicht, können durch Anwendung des Sammlerprinzips und geeigneter Formgebung der Weicheisenpolelemente und der Schienengeometrie erreicht werden. Die Anwendung auf große rotierende Schwungkörper ist in gleicher Weise möglich.

DE 41 14 706 C 1

BEST AVAILABLE COPY



Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Magnet- und Schienenanordnung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Eine solche Anordnung ist aus der DE-OS 26 14 883 bekannt.

Zahlreiche Vorschläge zur Verbesserung der Trag- und Führttechnik sind darauf gerichtet, durch Heranziehung von Permanentmagneten die Nachteile einer rein elektromagnetischen Aufhängung zu überwinden. Insbesondere für die Anwendung der Schwebetechnik bei Fahrzeugen sind Fragen der Verlustvermeidung für die Erzeugung des magnetischen Feldes, der schnellen Regelbarkeit zur Erzielung eines guten Folgeverhaltens (des Magneten gegenüber der Fahrbahn) sowie eine günstige konfiguratorische Anordnung von Magnet und Schiene von besonderer Bedeutung. Weiter ist ein ausreichendes Verhältnis von Seitenkraft zu Tragkraft bei kombinierten Tragführanordnungen sicherzustellen. Der Quotient Tragkraft zu Magnetgewicht ist dabei ein Maß für die Güte der Tragkonzeption. Wesentlich beeinflusst wird die Tragkraft durch die Führung des magnetischen Feldes, den Anteil der nicht zur Kraftbildung beitragenden Feldkomponenten im Zusammenhang mit der geometrischen Anordnung der Schienen.

Für kombinierte Trag-Führanordnungen kann die Querschnittskonfiguration von Magnet und Schiene so gewählt werden, daß in einer Richtung stabilisierend wirkende Rückstellkräfte ausreichender Größe erzeugt werden. Letztere lassen sich entweder zur Tragkraft- oder zur Seitenkraftbildung einsetzen (DE-OS 37 19 587 oder DE-OS 26 14 883). Die hier zu beschreibende Anordnung macht von der letzteren Möglichkeit Gebrauch und verwendet zur Verlustminimierung Permanentmagnete, so daß stromführenden Spulen die Aufgabe zugewiesen ist, mit Hilfe einer Regelung die bei Störungen stabilisierend wirkenden Feldkomponenten zu erzeugen.

Ausgehend von diesem St. d. T. liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde den Magneten, der aus dem Permanentmagnet, der Spule und den Flußführelementen zusammengesetzt ist, so mit einer Schienenanordnung zu kombinieren, daß in vertikaler Richtung die Magnetanordnung sehr wenig Platz beansprucht, daß ein günstiges Verhältnis Tragkraft/Magnetgewicht erreicht wird und preisgünstige Dauermagnete verwendet werden können. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1. Die so entsprechende, insgesamt sehr flache Ausführungsform des Magnetquerschnitts soll ermöglichen, daß auch die Schienenanordnung in vertikaler Richtung wenig Raum beansprucht und somit günstig in eine flach ausgeführte Fahrbahn integriert werden kann. Ein Umgreifen der Fahrbahn als Ganzes oder eine U-förmig ausgeführte Fahrbahn mit seitlich angebrachten Trag-Führelementen kann so umgangen werden. Es besteht somit die Zielsetzung durch eine flach ausgeführte Magnet/Schienenanordnung auch eine einfache bodengestützte Fahrbahnvariante zu ermöglichen und die bekannten komplizierteren Fahrbahngeometrien, die auch höhere Kosten bedingen, zu vermeiden.

Die Konzeption einer bauhöhenbeschränkten Magnet-/Schienenanordnung wird durch die Merkmale der Schutzansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung dargelegt. Ein Weg zur Ausführung der Erfindung wird weiter anhand von mehreren Zeichnungen erläutert.

Fig. 1 Schemadarstellung einer weitgehend bekannt-

ten Magnet-/Schienenanordnung mit zwei C-Schienen, Magnete senkrecht stehend;

Fig. 2 Schemadarstellung einer erfindungsgemäßen Magnet-/Schienenanordnung mit waagrechttem Magnet und Stromkreis;

Fig. 3 Schemadarstellung der Verbindung zwischen Trag-Führmagnet und Fahrzeug;

Fig. 4 Schemadarstellung der Fahrwegausbildung;

Fig. 5 Waagerechte Magnetanordnung mit Sammler für einen ringförmigen Schwungmassenspeicher.

Die Anwendung von Permanentmagneten zur Erregung des magnetischen Flußanteils, der die Tragkräfte für normale Schwebbedingungen erzeugt, bewirkt die angestrebte starke Reduktion der für den Schwebevorgang benötigten Leistung. Gleichzeitig wird für die Bemessung des Leistungsstellgliedes eine Verringerung der Bauleistung sowie eine Verbesserung der dynamischen Regelbedingungen erzielt. Wichtig ist dabei, daß beim Einsatz von Permanentmagneten günstige Voraussetzungen zur Begrenzung der Streufeldanteile bestehen. Im Zusammenhang hiermit steht die Wahl der Querschnittsgeometrie, die ihrerseits auch Einfluß auf die Bauhöhe des Magneten und die Zweckmäßigkeit der Schienenanordnung hat. Gegenüber bisherigen Vorschlägen und bekanntgewordenen Querschnittsgeometrien wird die gestellte Aufgabe hier durch einen verbesserten Ansatz für die Magnet-/Schienengeometrie gelöst. Es werden insgesamt vier Magnetfeld-Teilpole in die Magnet-/Schienenanordnung einbezogen. Zur Erzielung ausreichend großer Tragkräfte wird die im Spalt δ entstehende Normalkomponente des magnetischen Feldes zum Einsatz für die Tragkraftbildung gebracht, z. B. Fig. 1. Die Kanteneffekte, die bei Verschiebung des Magneten M aus der Mittellage gegenüber den Schienen Sn die Seitenkräfte bilden, sind durch die vorhandene Zahl der Kanten (insgesamt 8 bei 4 Polen) ebenfalls ausreichend wirkungsvoll. Durch die Sammleranordnung mit der Breite b_g des Weicheisenpols PE am Spalt, die deutlich geringer als die anteilige Permanentmagnetbreite b_M ist, ergibt sich auch bei Verwendung von Permanentmagneten mit Remanenzinduktionen von 0,4 T (wie z. B. Ferrit-Material) eine Luftspaltinduktion nahe 1,0 T.

Fig. 1 stellt eine mögliche Anordnung dar, die hinsichtlich Spulenausführung mit Hin- und Rückleiter L1, L2 in je einem Magnet, Kantenzahl (der Teilpole) und Sammlerform des Permanentmagneten den gestellten Bedingungen entspricht und als konfiguratorisch naheliegend angesehen werden kann. Sie weist allerdings noch den Nachteil auf, daß sie durch die Magnetgestaltung in Sammlerform zu einer großen vertikalen Bauhöhe und damit auch zu einer ungünstigen Fahrweggestaltung beiträgt. Die Unterkante Magnet liegt verhältnismäßig tief gegenüber der Oberkante der Fahrbahn (Bauhöhe h_0). Nachteilig ist auch, daß am unteren Magnetende verhältnismäßig große Streuflußkomponenten auftreten, deren Berücksichtigung ihrerseits die Bauhöhe des Magneten vergrößert. So entsteht auch ein gegenüber dem erreichbaren Optimum weniger günstiges Verhältnis von Tragkraft zu Magnetgewicht.

Deutlich günstiger erscheint die erfindungsgemäße Querschnittsanordnung nach Fig. 2. Im Vergleich zu Fig. 1 sind die beiden Magnetteile um 90° gedreht und zusammengefügt. Streuflußanteile werden somit (im Mittelbereich) vermieden.

Dies reduziert die Breite der Gesamtanordnung und die Menge des Magnetmaterials zur Erzielung gleicher Tragkraft. Der mechanische Verbund wird beim Ma-

gnet direkt durch die flußführenden, aus Eisen bestehenden Deckplatten PE1 und PE2 ermöglicht.

Durch die Ausbildung nach obenweisender Polansätze PA1 und PA2 wird auch hier erreicht, daß die Normalkomponente des Feldes tragkraftbildend wirkt. Ungleich lang ausgebildete Schenkel der Trag-Führschiene S_n und annähernd gleich lange vertikale Polansätze PA am Magneten sind zur Reduktion des Streuflusses zweckmäßig. Das Minimum der Höhe der Polansätze folgt aus der Bedingung, daß der magnetische Fluß möglichst vollständig in die dafür vorgesehene Polfläche Eintritt. Dies kann erreicht werden, wenn die PA-Höhe mindestens gleich der Luftspaltlänge δ ist. Die Bauhöhe h_1 kann so gegenüber Fig. 1 drastisch reduziert werden. Sie ist deutlich geringer als die Magnetausdehnung in horizontaler Richtung.

Eine so ausgebildete Magnet-/Schienenanordnung weist die für die Fahrbahn besonders wichtigen Vorteile einer kostengünstigen Ausführung bei beliebiger Ausbildung des Fahrbahnträgers und die gewünschte Anwendungsfreizügigkeit z. B. der Fahrbahnverlegung auf bereits vorhandenen Trassen auf. Gleichzeitig wird eine so gestaltete Magnet-/Schienenanordnung den Wünschen der Systemgestalter gerecht, sich flexibel an unterschiedliche Gewichtsforderungen für die Fahrzeuge anpassen zu lassen. Durch die Anwendung von Ferrit-Magneten kann der Kostenanteil für die schwebetechnische Ausrüstung der Fahrzeuge im Vergleich zu Hochenergiemagneten drastisch gesenkt werden. Die Vorteile der Anwendung geregelter Permanentmagnete werden auf diese Weise besonders deutlich sichtbar.

In Fig. 2 ist die Energiezufuhr über den Stromkreis zur Spule L1, L2 des Magneten gezeichnet, die über einen Steller St aus einer Energiequelle E vorgenommen wird. Die Aussteuerung des Stellers über einen Regler R' der Spaltabweichungen durch ein Sensorelement S und den Vergleich gegenüber dem Nennspalt δ berücksichtigt, bestimmt die für die Spule wirksame Spannung, die ihrerseits (unter Berücksichtigung von ohmschen Widerstand und Induktivität) den Strom der Spule bestimmt. Diese Spaltregelung entspricht prinzipiell den bekannten Anordnungen und erfüllt auch die bei seitlicher Verschiebung zu berücksichtigende Bedingung, daß durch den Spulenstrom die Tragkraft zur Spaltregelung nachgestellt wird. Da die Spule des Trag-Führmagneten im Vergleich zu einem Elektromagnet mit geringerem Querschnitt ausgelegt wird, kann ihre Induktivität klein gehalten werden, was zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens beiträgt. Die notwendige größte Stellerleistung folgt bei gegebenem Spulenquerschnitt aus der Magnetisierungsleistung, die sich zum Abheben des Magnets bei anliegenden Polflächen von Magnet und Schiene (aus dem Ruhezustand) ergibt.

Die in Fig. 3 dargestellte Anordnung weist auf die Verbindung zwischen Trag-Führmagnet und Fahrzeug hin. Da jede Fahrzeugseite in ihrer Trag- und Führungsfunktion autark, d. h. von der anderen Fahrzeugseite unabhängig ist, erscheint eine Anordnung der beschriebenen Art besonders geeignet für die Ausbildung einer Anzahl selbständiger Stützelemente, die einer Einzelradstützung bei Fahrzeugen entspricht. Die Anbindung an das Fahrzeugunterteil kann dabei in unterschiedlicher Weise erfolgen. Die regelungstechnische Entkopplung einzelner Magneteinheiten erfordert eine Anbindung der Magnete über elastische Elemente. Fig. 3 weist auf die Notwendigkeit einer Führung der Magnete in vertikaler und seitlicher Richtung hin. Diese Führung kann durch unterschiedliche technische Mittel (Parallelführung PF

wie gezeichnet, Linearführung LF z. B. horizontal o. ä.) erfolgen. Je nachdem, ob nur eine oder mehrere Federebenen in einer Richtung angesetzt werden, ergeben sich unterschiedliche Bedingungen für die Wahl der Steifigkeit bzw. der Eigenfrequenzen der Federelemente. In Fig. 3 sind z. B. die Federn F1 und F2 vertikal und F3 horizontal vorgesehen. Bei der angesprochenen Einzelmagnetanbindung ist der bei Kurvenfahrten auftretende maximale seitliche Verschiebeweg zu berücksichtigen. Die Anwendung von mehreren Schweb- bzw. Drehgestellen je Fahrzeug verringert die maximale Seitenverschiebung. Mit den Kopplungselementen in Verbindung lassen sich Maßnahmen zur Roll- und Nickstabilisierung mit den in der Fahrzeugtechnik bekannten Mitteln heranziehen. Magnetausführung und Magnetanbindung an das Fahrzeug lassen sich im vorliegenden Fall zu einer insgesamt einfachen Fahrzeuggestaltung kombinieren. Es kann eine sehr kleine Bauhöhe (für Fahrzeug und Fahrbahn) im Vergleich zu anderen bekannten Anordnungen erzielt werden.

Fig. 4 stellt eine Fahrwegausbildung dar, die im Zusammenwirken mit der beschriebenen Magnetkonfiguration einsetzbar ist.

Die oben beschriebenen Maßnahmen zur Ausbildung von Magneten und Schienen mit dem Ziel einer möglichst geringen Bauhöhe und einem günstigen Verhältnis von Tragkraft zu Magnetgewicht, auch bei Anwendung von Ferrit-Magneten, ist nicht allein auf die Anwendung bei Fahrzeugen der Verkehrstechnik beschränkt. Auch bei rotierenden Körpern, etwa ringförmigen Massespeichern, bietet die Magnetfeldstützung große Vorteile (vgl. auch DE-OS 37 19 587, Fig. 3a, 3b). Sie ist für die Ausführbarkeit von Massenspeichern und deren reibungsfreiem Betrieb eine Vorbedingung, wenn diese Körper eine bestimmte Größe (Durchmesser) erreichen sollen. Der Raumbedarf für die Magnetanordnung und der Materialaufwand für die Magnete stellen aus wirtschaftlicher Sicht einen konstruktionsentscheidenden Faktor dar und sind bedeutungsvoll.

In Fig. 5 wurde ähnlich wie bei der Anordnung nach Fig. 2 eine Sammleranordnung für die Ausbildung der Magnete gewählt und eine waagerechte Magnetanordnung M mit einer zu Fig. 2 analogen Ausbildung der den Spaltbereich bildenden Polansätze verwendet. Schiene und Erregerteil vertauschen allerdings ihre Rollen. Um den ringförmigen Rotationskörper R, der um eine vertikale Achse (rechts der gezeichneten Anordnung) rotiert, mit möglichst geringer Zusatzmasse zu befrachten, werden dort die passiven Schienenelemente S_n ringförmig so angeordnet, daß eine Fliehkraftabstützung durch das Fasermaterial des Schwungrings R gegeben ist. Fig. 5 zeigt zwei Stützmagnete M, die am oberen Teil des Ringprofils die Stützfunktion versehen. Die Magnete sind hierbei einseitig wirkend eingesetzt, entsprechen aber im übrigen den bei Fig. 2 dargestellten Merkmalen (vertikale Polansätze). So lassen sich je cm Ringhöhe verhältnismäßig hohe Tragkräfte erzielen, die einem günstigen Verhältnis Ringmasse zu Magnetmasse entsprechen. In radialer Richtung bewirkt der Kanteneffekt eine Stabilisierung des schwebenden Rings. Wenn keine Maßnahmen für den Versatz der Erregerteile gegenüber den Schienen vorgesehen sind, kann eine zusätzliche Anordnung eines radialwirkenden Magneten zur Stabilisierung der radialen Lage und dem Aufbringen der Dämpfung nützlich sein. Die Magnetstützung eines Schwungmassenspeichers kann auf diese Weise den Forderungen nach raumsparender und massearmer Anordnung sowie der Wirtschaftlichkeit angepaßt wer-

den. Den bei hoher Umfangsgeschwindigkeit auftretenden Dehnungsproblemen wird gegebenenfalls durch eine geschwindigkeitsabhängige Positionierung der Erregerenteile in radialer Richtung entsprochen.

Patentansprüche

1. Magnet- und Schienenanordnung zur Übertragung von magnetischen Kräften zwischen Weicheisenpolen zur Erzeugung einer durch einen Regelkreis und einer stromführenden Spule stabilisierten Tragkraft und sich frei einstellender seitlicher Rückstellkräfte mit einer Erregung des magnetischen Feldes durch Permanentmagnete mit Flußführung in Weicheisenteilen zum Tragspalt, wobei der flußführende Querschnitt am Tragspalt um mehr als einen Faktor 2 kleiner ist als der Querschnitt des Permanentmagneten und einer Schienenanordnung, die aus Weicheisen-Profilstahl besteht, dessen Dicke etwa der Dicke der Weicheisenelemente des Magneten entspricht, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Weicheisenelemente des Magneten (M) Polansätze (PA, PA1, PA2) besitzen, die um etwa 90° abgewinkelt sind und in ihrer Länge mindestens der Luftspaltlänge (δ) entsprechen und die den Magnetkreis vervollständigende Schiene (Sn) im wesentlichen rechtwinklig mit ungleichen Schenkellängen in vertikaler Richtung ausgeführt ist.
2. Magnet- und Schienenanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Seiten der Magnetanordnung (Fig. 2) oder zwei übereinander angeordnete Magnete (Fig. 5) durch die beiden Spulenseiten (L1, L2) einer Spule stabilisiert werden.
3. Magnet- und Schienenanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Magnetereinheit mit zwei Schienen (Sn) zusammenwirkt und die Trag- und Führkräfte durch Federn (F1, F2) und Dämpferelemente unabhängig von der gegenüberliegenden Fahrzeugseite auf das Fahrzeug übertragen werden.
4. Magnet- und Schienenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schienenanordnung (Sn) auf der Oberseite einer flach ausgeführten Fahrbahn montiert und so ausgeführt ist, daß die Bauhöhe (h , Fig. 2, Fig. 3) kleiner ist als die Breite der Magnet- und Schienenanordnung.
5. Magnet- und Schienenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Magnetanordnung feststehend und kreisförmig in Segmenten ausgeführt ist und die Schienenanordnung mit entsprechender Geometrie auf der oberen Innenseite eines rotierenden Schwungrings (R) angeordnet ist und dieser durch die magnetischen Kräfte geführt wird (Fig. 5).

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

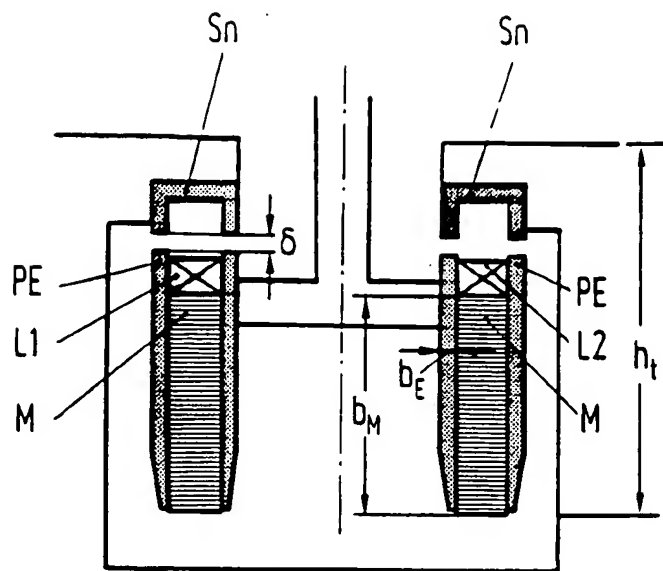


Fig.1

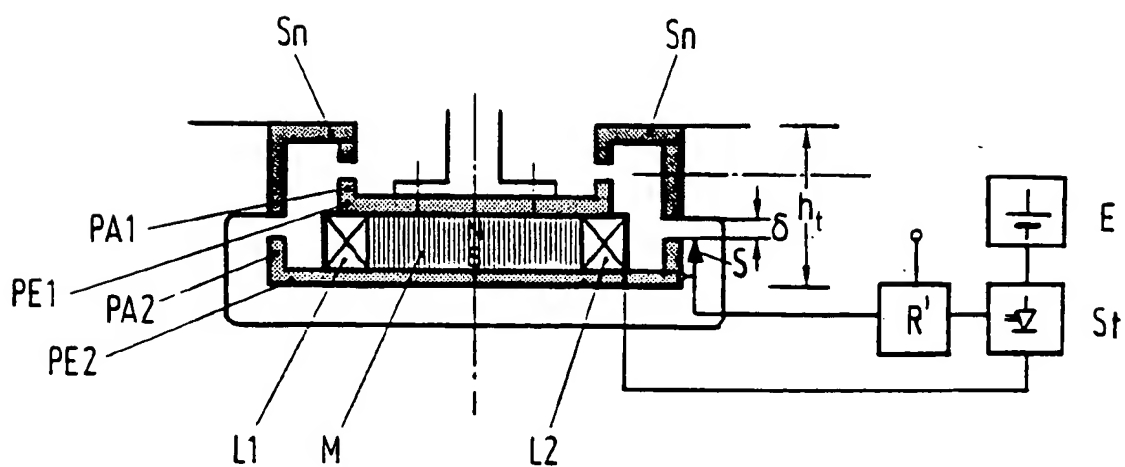


Fig.2

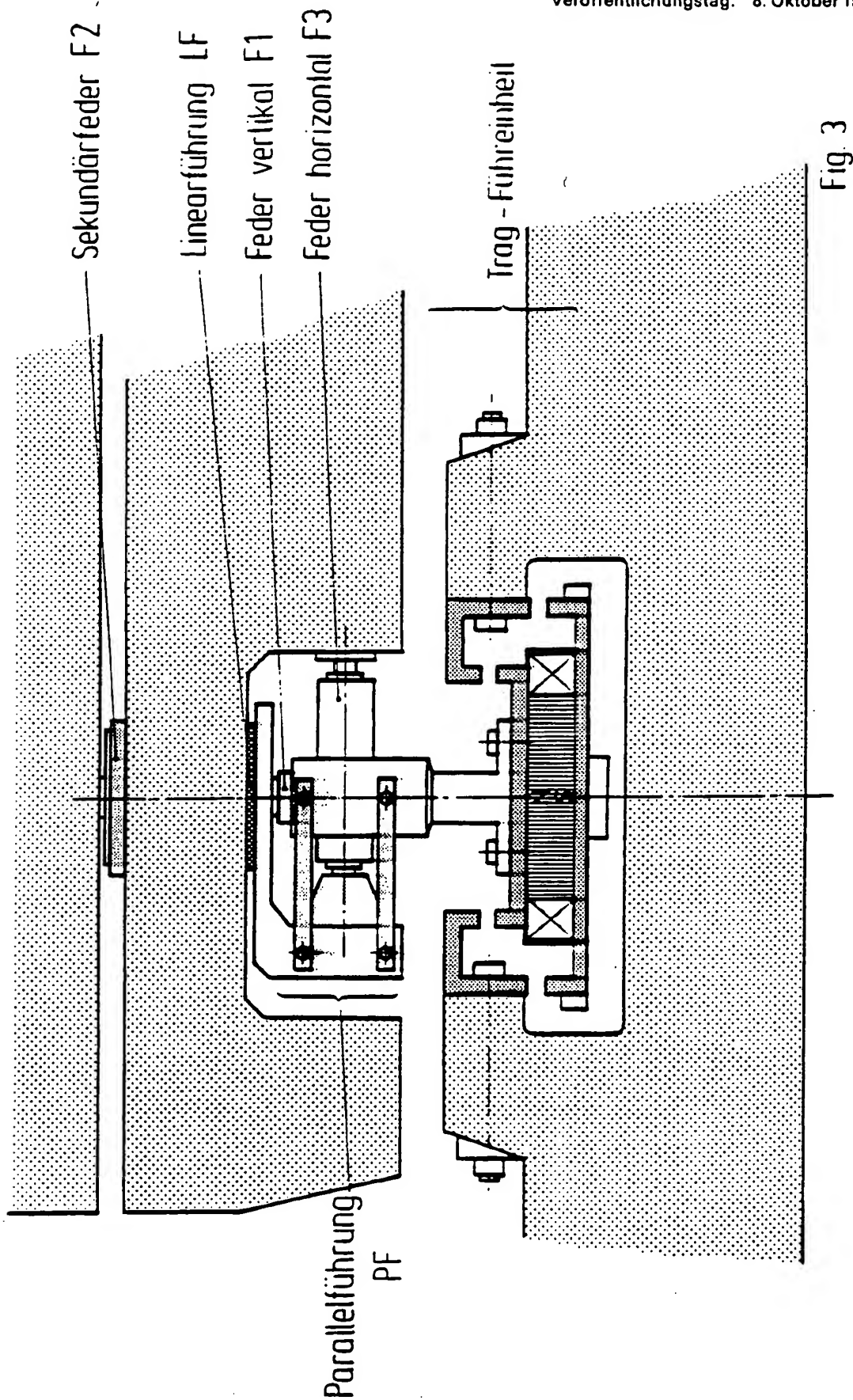


Fig. 3

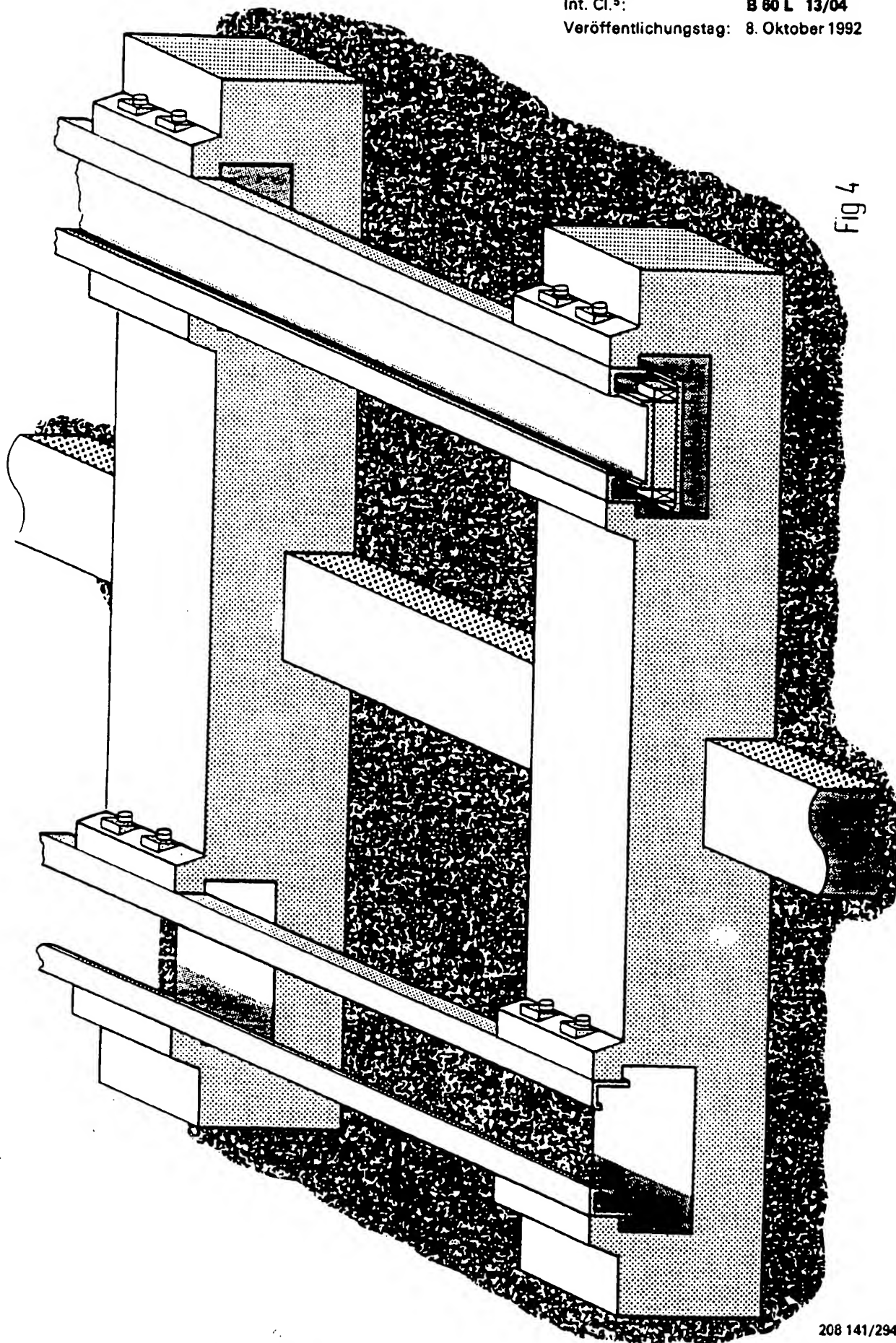


Fig. 4

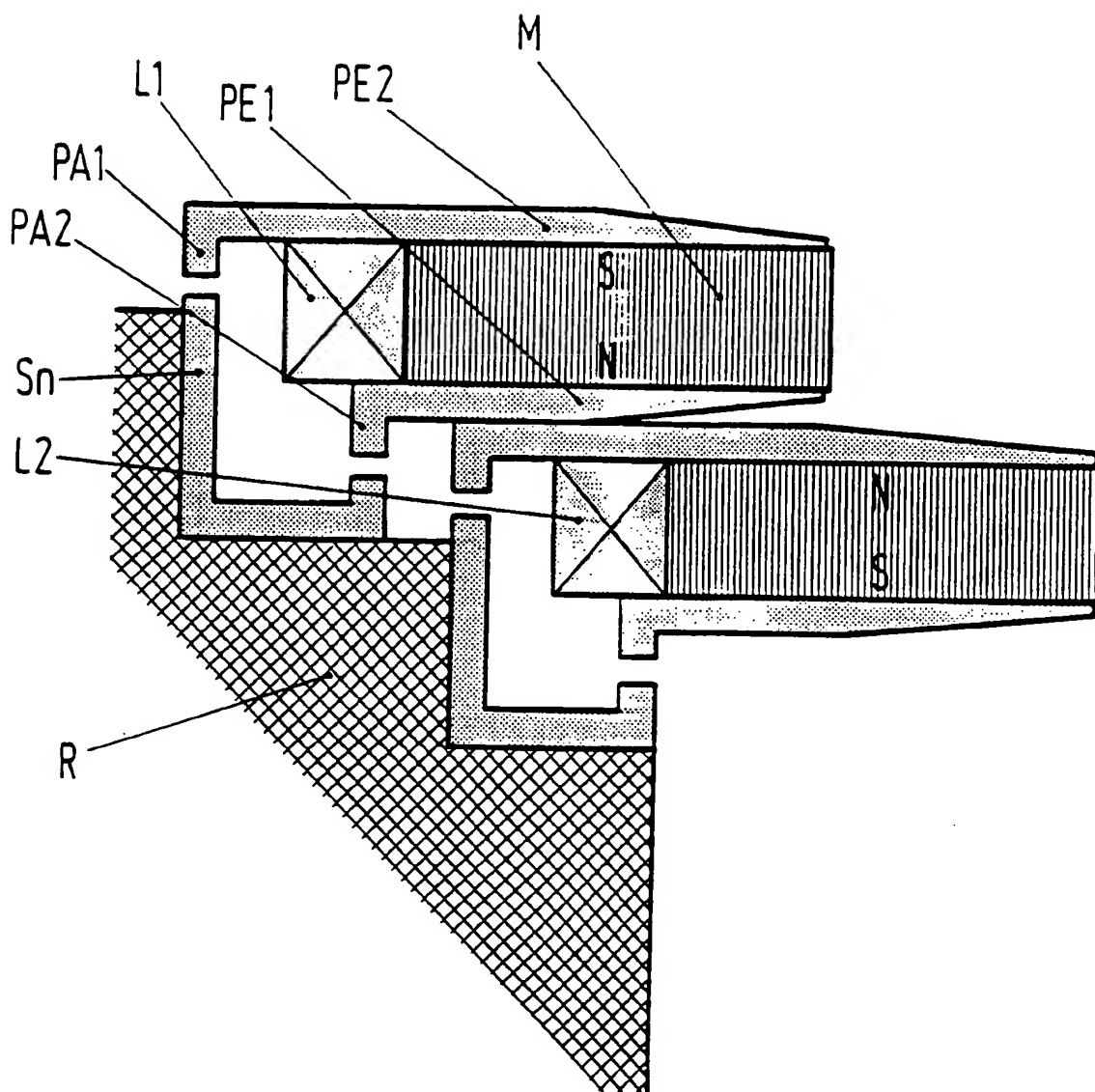


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.